

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт нефти и газа
«Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э. А. Петровский
« _____ » _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
направление 15.03.02 «Технологические машины»
профиль 15.03.02.01 «Проектирование технических и технологических
комплексов»

Разработка инженерной методики оптимального проектирования
горизонтальных резервуаров

Руководитель _____ к.т.н., доцент В. Б. Ясинский

Выпускник _____ В. В. Котельников

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ Э. А. Петровский

« _____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Красноярск 2016

Студенту _____ Котельникову Владиславу Викторовичу _____

Группа НБ 12-02 Направление 15.03.01, профиль 15.03.01.01

«Технологические машины и оборудование» , профиль «Проектирование технических и технологических комплексов»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка инженерной методики оптимального проектирования горизонтальных резервуаров»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР В.Б. Ясинский, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Стандарты на резервуары и емкостное оборудование, техническое задание на проектирование горизонтального резервуара, правила эксплуатации и обслуживания горизонтальных резервуаров.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы. 1 Анализ конструкций резервуаров 1.2 Классификация резервуаров 1.3 Горизонтальные резервуары. 2 Анализ методов проектирования горизонтальных резервуаров. 2.1 Требования к проектированию 2.2 Изготовление конструкций резервуаров. 3 Проектирование и расчет резервуара. 3.1 Техническое задание на резервуар. 3.2 Расчет и оптимизация конструкции резервуара.

Перечень графического и иллюстративного материала: Чертёж общего вида горизонтального резервуара., сборочный чертеж сепаратора, презентация.

Руководитель ВКР _____ В. Б. Ясинский

Задание принял к исполнению _____ В.В. Котельников

«___» _____ 2016 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка инженерной методики оптимального проектирования горизонтальных резервуаров» содержит 66 страниц текстового документа, 9 рисунков, 6 таблиц, 30 использованных источников, 2 листа графического материала.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ, МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ, РАСЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ОПТИМАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Цель выпускной квалификационной работы: Разработка метода оптимизации горизонтальных резервуаров, с учетом конструктивных параметров - толщина стенки, длина сварных швов по критерию минимальной стоимости.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ методик проектирования резервуаров
- анализ конструкций резервуаров
- анализ требований к проектированию
- анализ методов проектирования
- разработка метода оптимизации конструкции горизонтального резервуара
- проведение расчета конструктивных параметров горизонтального резервуара.

Содержание

Введение	6
1 Анализ конструкций резервуаров	8
1.1 Классификация резервуаров	8
1.2 Горизонтальные резервуары	18
1.2.1 Основные типы и параметры.....	18
1.2.2 Корпуса резервуаров.....	19
1.2.3 Конструктивные решения днищ резервуаров.....	20
1.2.4 Межкамерные перегородки.....	20
1.2.5 Оборудование резервуаров.....	21
2 Анализ методов проектирования горизонтальных резервуаров	22
2.1 Требования к проектированию.....	22
2.1.1 Основные требования.....	22
2.1.2 Расчетные требования	23
2.1.3 Требования к выбору стали.....	24
2.1.4 Требования к сварочным материалам	26
2.2 Изготовление конструкций резервуаров.....	26
2.2.1 Общие требования.....	26
2.2.2 Сварка конструкций.....	27
2.2.3 Сварные соединения и швы.....	28
2.2.4 Испытания резервуаров	38
3 Проектирование и расчет резервуара	50
3.1 Техническое задание на резервуар.....	50
3.2 Расчет и оптимизация конструкции резервуара.....	51
Заключение	63
Список использованных источников	64

Введение

Современная стратегия экономической реформы и перехода к рыночным отношениям ставит перед машиностроением задачу эффективного использования основных фондов, изготовления оборудования с наименьшими затратами. Появляется конкуренция на рынке сбыта, что заставляет предприятия искать новые сферы производства, определяет новый этап в развитии машиностроения, связанный с настоятельной необходимостью быстрого совершенствования технических характеристик изделий, повышения их качества. Одним из важнейших типов оборудования, широко распространенным в химической, нефтехимической, пищевой и ряду других отраслей промышленности является емкостная аппаратура горизонтального типа резервуары сборники, химические реакторы, газгольдеры и т. д. Такое оборудование предназначено для хранения, переработки и транспортировки химических, пищевых и других жидких продуктов под достаточно высоким избыточным давлением [1].

Удовлетворение потребностей народного хозяйства в емкостной аппаратуре при непрерывном повышении качества изделий может быть обеспечено на основе выполнения ряда мероприятий по исследованию, разработке и освоению новых конструкций. Одним из факторов, определяющих реализацию условий успешного решения этих задач при обеспечении работоспособности и надежности оборудования, является разработка и внедрение новых прогрессивных методов и алгоритмов расчета на прочность и оптимальное проектирование. Сложность конструктивных форм, специфические условия эксплуатации предъявляют к расчетам аппаратуры своеобразные и повышенные требования. Необходимость обеспечения работоспособности и надежности изделий определяет актуальность проблемы расчетной оценки несущей способности элементов оборудования, работающего в сложных условиях эксплуатации [2].

При проектировании аппаратуры основной задачей является выбор конструктивных параметров изделий, обеспечивающих их высокую эффективность (минимальную материалоемкость, достаточный запас прочности и жесткости, низкую себестоимость и т.д.). Разработка любого изделия представляет собой циклический итерационный процесс, при котором конструктор рассматривает ряд вариантов изделия, сравнивает их по выбранным критериям эффективности, выполняет оценочные расчеты. При разработке достаточно сложных изделий на практике обычно рассматривают не более 2-3 вариантов конструкции ввиду ограничений по времени при выполнении трудоемких расчетов. Наиболее трудоемкими являются расчеты, связанные с оценкой работоспособности конструкций. Выполняя расчеты на прочность, в большинстве случаев используются упрощенные расчетные схемы. Так при расчете на прочность горизонтальных цилиндрических сосудов и аппаратов в практике проектирования часто используют балочную математическую модель, в которой не учитывают реальную геометрию конструкции, не осесимметричный характер ее нагружения и ряд других факторов. Большой практический опыт разработки изделий этого типа позволяет создавать работоспособные конструкции, однако вопрос о возможности повышения их эффективности остается открытым. Ввиду отсутствия точных и доступных широкому кругу пользователей методов расчета на прочность горизонтальных резервуаров конструктор вынужден назначать завышенные коэффициенты запаса прочности, что приводит к увеличению металлоемкости конструкции, перерасходу дефицитных материалов, повышенным энергетическим затратам. Поэтому наряду с проблемой обоснования несущей способности и ресурса оборудования особое значение приобретают вопросы, связанные с постановкой и решением задач оптимального проектирования на основе применения уточненных методов расчета на прочность для систематического исследования характерных особенностей работы конструкций [3].

1. Анализ конструкций резервуаров

1.1 Классификация резервуаров

Резервуар (лат. *resvo* - сберегаю) - емкость для приема, хранения, учета, обработки и отпуска различного рода жидкостей - воды, нефти, нефтепродуктов, щелочей, кислот, сжиженных газов и т.д.

Различные условия эксплуатации резервуаров, зависящие от района размещения, а также индивидуальные требования к объему обрабатываемого и хранимого продукта приводят к необходимости проектирования и изготовления резервуаров из различных материалов и с различными геометрическими и конструктивными параметрами [4].

Резервуары классифицируются по:

- назначению;
- основному используемому материалу;
- генеральному конструктивному решению;
- расположению;
- группам;
- типам;
- видам;
- режиму эксплуатации;
- степени опасности и т.д.

Классификация «по назначению» строится на основании вида хранимого продукта.

Согласно данной классификации выделяют следующие группы резервуаров:

- водяные;
- нефтяные;
- для сжиженных газов;
- для химических продуктов и др.

Внутри данных групп также существует деление на подгруппы.

В группе нефтяных резервуаров выделяют следующие подгруппы:

- для нефти и светлых нефтепродуктов (лвж);
- для темных нефтепродуктов (мазут, битум, масла);
- для нефтесодержащих жидкостей (отходы нефтепереработки, нефтешламы, подтоварная вода и др.).

Классификация по основному, используемому для изготовления материалу включает в себя следующие резервуары:

- металлические;
- неметаллические (резиноканевые, стеклопластиковые, железобетонные и др.);
- подземные емкости глубокого заложения.

Резервуары последней группы создаются по специальной технологии и располагаются в солевых отложениях, пластах крупнообмоточных пород и в тугопластичных пластах [5].

По генеральному конструктивному решению выделяют следующие типы резервуаров:

- цилиндрические;
- прямоугольные и многоугольные;
- шаровые;
- сложных конструктивных форм - каплевидные, таровидные и т.д.

Резервуары последней группы изготавливались в очень малых количествах для проведения экспериментальных исследований и практического применения не нашли.

По расположению относительно планировочной высотной отметки резервуарного парка различают:

- надземные резервуары, днище которых расположено выше планировочной высотной отметки;
- наземные резервуары, днище которых находится на поверхности естественного основания;

- подземные резервуары-емкости, удовлетворяющие следующему условию: разница между максимальным уровнем хранимого продукта и планировочной высотной отметкой не превышает 0,2 м;

- существуют даже подводные резервуары. Изготавливаются они из стали или железобетона и могут быть как подвижными так и стационарными.

Следует выделить еще одну группу - полуподземные (полузаглубленные) резервуары. Днище емкостей данной группы располагается ниже высотной отметки, при этом расстояние между максимальным уровнем жидкости и уровнем высотной отметки находится на расстоянии меньшем 0,2 м. Изготавливаются в виде цилиндрических горизонтальных резервуаров из стали либо железобетона [6].

Характеристика резервуаров по технологическому режиму эксплуатации строится на анализе таких параметров, как рабочее давление (избыточное и вакуума), рабочий температурный режим, и оперативное использование.

Выделяют следующие группы резервуаров по оперативному использованию:

- резервуары длительного хранения;
- емкости для смешения;
- емкости для непрерывного выполнения технологических операций и др.

По величине рабочего избыточного давления выделяют следующие типы резервуаров:

- атмосферные, где избыточное давление равно нулю;
- низкого давления, где рабочее давление не превышает 2 КПа;
- повышенного избыточного давления, где рабочее давление лежит в пределах от 2 до 7 КПа;
- высокого избыточного давления, где рабочее избыточное давление больше 7 КПа;

Значение рабочего вакуумметрического давления лежит в пределах от 0,2 до 2,5 Кпа и зависит от вида хранимого продукта и конструкции резервуара.

По температурному режиму хранения и эксплуатации резервуары подразделяют на:

- используемые при температуре окружающего воздуха;
- эксплуатируемые с дополнительным подогревом хранимого продукта.

Данный вид резервуаров используется в основном для высоковязких нефтепродуктов;

- изотермические резервуары, используемые для хранения продукта при отрицательных температурах. В первую очередь это различные сжиженные газы (метан, пропан, этан и др.)

В зависимости от объема хранимого продукта резервуары делятся на 4 класса опасности:

- 1 класс опасности - резервуары объемом свыше 50 000 м³;
- 2 класс опасности - это емкости объемом от 20000 м³ до 50 000 м³, а также объемом 10000 м³ до 50 000 м³, если они расположены по берегам крупных водоемов и рек, либо в черте городе;
- 3 класс опасности - резервуары объемом от 1000 м³ до 20 000 м³;
- 4 класс опасности - резервуары менее 1000 м³.

Класс опасности оказывает значительное влияние на проектирование, изготовление и монтаж резервуаров. Расчет прочности стенки резервуара при выборе коэффициентов надежности, требования к методам изготовления и монтажа, методы и объем контроля качества материалов, сварных соединений и монтажа всецело зависят от класса опасности данного резервуара [7].

Резервуары для хранения и обработки нефти и нефтепродуктов, помимо прочего, относят к 1 повышенному уровню ответственности сооружений.

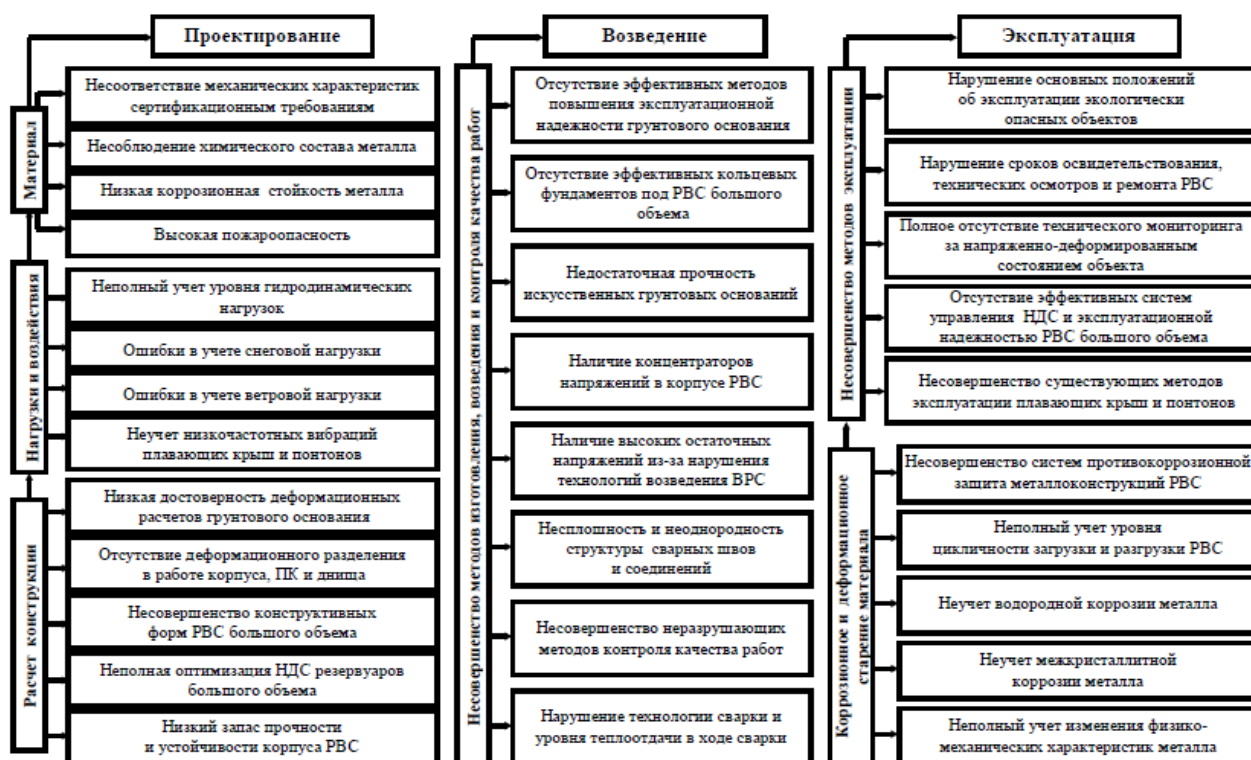


Рисунок 1 - Системная классификация причин разрушения РГС

1.2 Резервуары горизонтальные стальные

Резервуар горизонтальный стальной предназначен для приема, хранения и выдачи продукта.

По виду хранимого продукта производятся:

- РГС для светлых и темных нефтепродуктов;
- РГС для воды (питьевой, пожарной, технической);
- РГС для масел и смазочных материалов;
- РГС для спиртов;
- РГС для жидких минеральных удобрений;
- РГС для пищевого сырья (пищевых жидких продуктов).

Горизонтальные резервуары находят широкое применение на нефтебазах, автозаправочных станциях (АЗС), складах ГСМ, в системах ТЭС и котельных, как наиболее экономически и технологически эффективный вид топливного хранилища. Эффективность данного вида резервуаров обеспечена,

в первую очередь, разнообразием их объемов и конфигураций, адаптируемых под специфику предприятия [8].

Классификация резервуаров

Горизонтальные резервуары классифицируются по нескольким основным параметрам:

По количеству стенок:

- одностенные РГС;
- двустенные РГС.

Двустенное исполнение позволяет сохранить продукт в случае протекания одной из стенок. Иногда между стенками заливают тосол для контроля изменения межстенного давления.

По размещению относительно поверхности территории горизонтальные стальные резервуары бывают двух типов:

- РГСн - наземного исполнения;

Также в отдельных случаях резервуары вкапывают в грунт частично, либо размещают его над уровнем поверхности территории, но создают над ним искусственный холм [9].

При необходимости защиты от замерзания среды в резервуаре устанавливается нагревательное оборудование: пароводяной либо электрический подогрев кабелем. Для сохранения температурного режима устанавливается термоизолирующая рубашка (теплоизоляция).

Элементы конструкции

Основными элементами горизонтальных резервуаров являются:

- опорная часть;
- стенка корпуса и узлы жесткости;
- торцевые части корпуса (днища);
- горловина (в случае подземного исполнения);
- навесное оборудование.

Опорная часть выполняется в нескольких вариантах:

- стальные опоры (опорные стойки);
- опоры седловидные из железобетона;
- основания из уплотненного песка с гидрофобным слоем.

Корпус РГС состоит из цилиндрической и торцевых частей. Цилиндрическую часть корпуса также принято называть стенкой, а торцевые части - днищами.

Цилиндрическая часть корпуса или стенка РГС состоит из определенного проектом количества обечаек, которые выполняются из металлопроката и в диаметре достигают 3,25 м. Толщины металлопроката определяют расчетами на устойчивость и прочность. Обечайки свариваются встык (монтажный шов при этом может быть выполнен внахлест). Корпус РГС часто комплектуется кольцами жесткости [10].

Днища РГС бывают трёх видов:

- плоские днища (безреберные или ребристые) - применяются в резервуарах с избыточным давлением до 40 кПа;
- конические днища - применяются в резервуарах с избыточным давлением от 40 кПа до 70 кПа;
- эллиптические - применяются в резервуарах с высоким избыточным давлением (более 70 кПа).

Резервуары обычно снабжают заземлением, лестницами, люками-лазами, оборудованием приёма-раздачи, вентиляции и КИПиА. По необходимости резервуар РГС оборудуется устройствами подогрева. Также резервуары горизонтальные подвергаются антикоррозийной защите и теплоизоляции.

Резервуары горизонтальные стальные РГС выполняются из стали Ст3, легированной стали 09Г2С или нержавеющей стали, например, для хранения пищевых продуктов или химических сред. Варианты исполнения резервуаров согласно ГОСТ 17032-2010 «Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов» представлены в таблице 1 – вариант 1, в таблице 2 – вариант 2.

Таблица 1 – вариант 1 исполнения РГС

Наименование	Длина (мм)	Внутр. диам. (мм)
РГС - 3 м3	2150	1400
РГС - 5 м3	2150	2000
РГС - 10 м3	2600	2000
РГС - 15 м3	4600	2190
РГС - 20 м3	6010	2190
РГС - 25 м3	4300	2800
РГС - 50 м3	8800	2800
РГС - 60 м3	11000	2780
РГС - 75 м3	9300	3200
РГС - 100 м3	12350	3200

Таблица 2 – вариант 2 исполнения РГС

Объём (литры)	Параметры резервуара		
	(могут меняться зависимо от заказа)		
	Диаметр внеш- ний (мм)	Длинна (мм)	Толщина сте- нок (мм)
5 000	1500	3000	4
6 000	1900	2720	4
10 000	1900	4000	5
15 000	1900	5775	5
20 000	2500	4700	5
25 000	2500	5668	5
30 000	2500	6700	5
35 000	2500	7750	6
40 000	2500	8755	6
50 000	2500	10880	6
60 000	2500	12885	6
75 000	2500	15950	6
85 000	3000	12200	6
100 000	3000	14500	6

- Резервуары горизонтальные стальные двухстенные подземного исполнения для хранения нефтепродуктов, применяются при строительстве блочных и традиционных АЗС.

- Резервуары горизонтальные стальные одностенные подземного исполнения для сбора аварийного пролива нефтепродуктов, дренажных стоков, а так же для эксплуатации на химическом производстве.

- Резервуары горизонтальные стальные двухстенные надземного исполнения для хранения нефтепродуктов, применяются при строительстве контейнерных, модульных автозаправочных станций, складах ГСМ на территории населенных пунктов.

- Резервуары горизонтальные стальные одностенные надземного исполнения для хранения нефтепродуктов (рисунок 2) применяются при строительстве модульных АЗС, нефтебазах и складах нефтепродуктов, эксплуатация которых осуществляется за пределами населенных пунктов. Так же данный вид резервуаров можно использовать в других различных областях народного хозяйства [11].

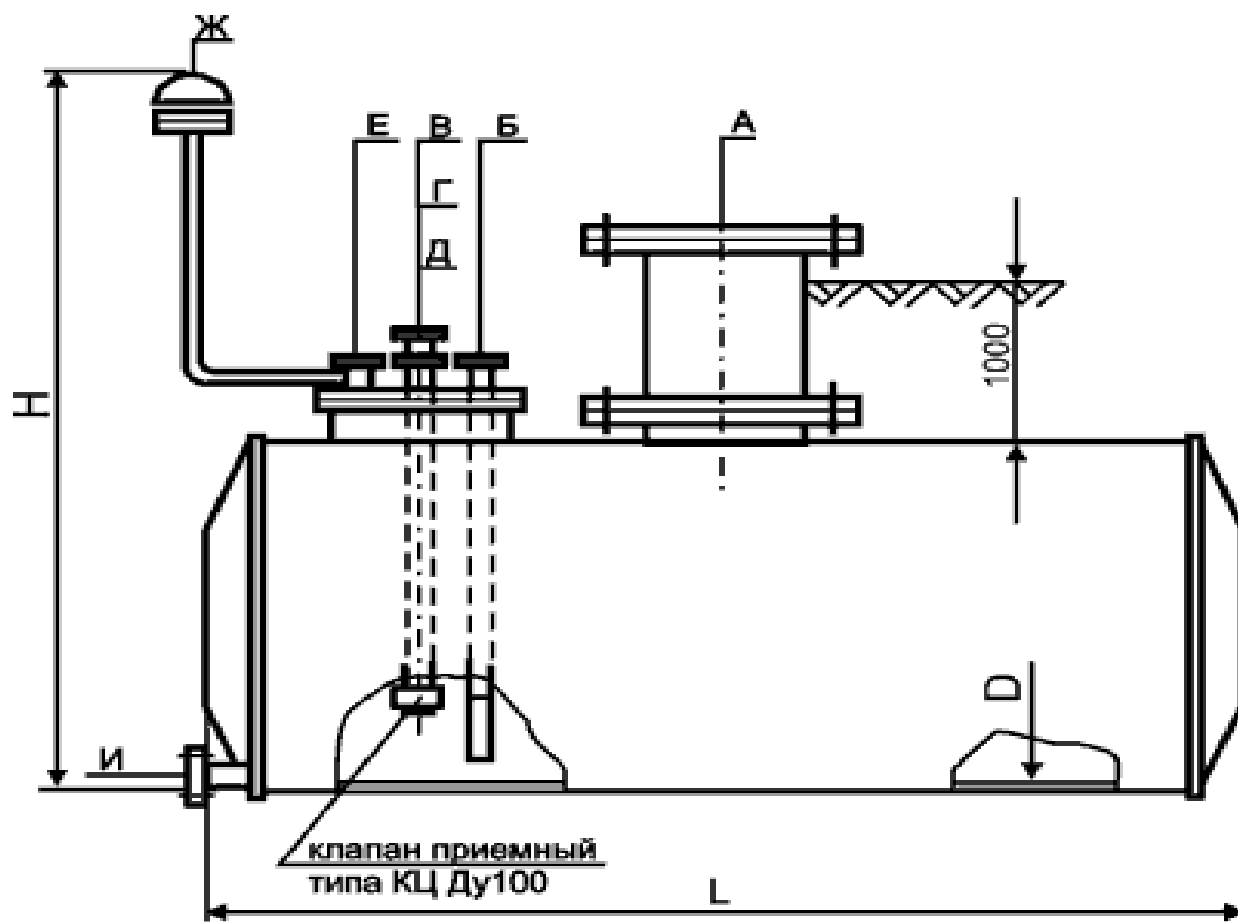


Рисунок 2 – Горизонтальный резервуар

А - Люк уровнемера; Б - Зачистная труба; В - Люк замерный; Г - Патрубок приема; Д - Патрубок раздачи; Ж - Клапан дыхательный; И - Патрубок сливной.

Корпус резервуара установлен на двух седловых опорах (ложементах). Транспортируемая жидкость находится под избыточным давлением, величина которого может составлять 0,2 МПа и более. Транспортировка продукта, как правило, производится по пересеченной местности, вследствие чего интенсивность динамической составляющей механической нагрузки может быть достаточно высокой. К прочностным параметрам конструкции предъявляются повышенные требования (рисунок 3).

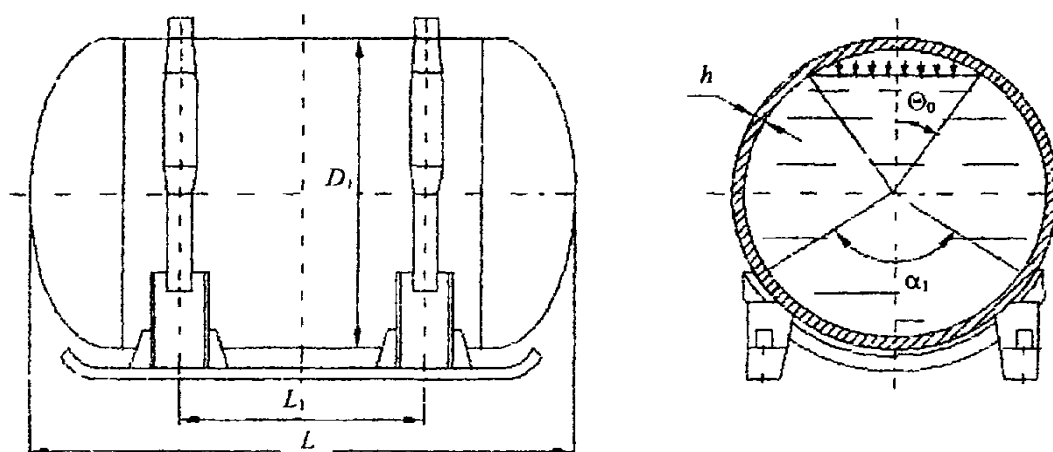


Рисунок 3 - Резервуар для хранения и транспортировки горючесмазочных материалов

1.2.1 Основные типы и параметры:

По конструктивным особенностям резервуары подразделяют на типы:

- резервуар горизонтальный стальной одностенный (РГС);
- резервуар горизонтальный стальной двухстенный (РГСД).

Резервуары могут быть однокамерными и многокамерными (с внутренними герметичными перегородками).

Рекомендуемые объемы резервуаров V : 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 40, 50, 60, 75, 100 м³. Основные типоразмеры резервуаров должны соответствовать транспортным габаритам и устанавливаться в технических условиях (ТУ) предприятий-изготовителей.

1.2.2 Корпуса резервуаров

Одностенные корпуса

Обечайки стенки резервуара допускается изготавливать из вальцованных заготовок методом рулонирования или комбинированным методом.

Стенка корпуса резервуара должна изготавливаться из свальцованной по заданному радиусу заготовки, сваренной в нижнем положении из нескольких листов. Расстояние между продольными сварными швами должно быть не менее 100 мм.

При рулонном изготовлении стенки из предварительно сваренных заготовок замыкающий продольный шов должен быть стыковым двусторонним и располагаться в верхней части резервуара.

После сборки и сварки обечайек стенка резервуара (без днища) должна соответствовать следующим требованиям:

а) отклонение по длине - не более $\pm 0,3$ % номинальной длины, но не более ± 75 мм;

б) отклонение от прямолинейности - не более 2 мм на длине 1 м, но не более 30 мм на длине стенки более 15 м.

Отклонение внутреннего (наружного) диаметра стенки резервуара допускается не более ± 1 % номинального диаметра, если в технической документации на резервуар не указаны более жесткие требования.

Двухстенные корпуса

Для подземного расположения резервуаров используются резервуары с двухстенными корпусами. Расстояние между стенками должно быть не менее 4 мм и обеспечиваться использованием вальцованного прямоугольного профиля, приваренного к внутренней стенке резервуара.

Наружная стенка двустенного резервуара должна выполняться полистовым методом или методом рулонирования. Замыкающие продольные и поперечные швы обечайки при полистовом методе должны быть выполнены встык на подкладках. Замыкающий шов при рулонном методе выполняется встык на подкладке или внахлест [12].

1.2.3 Конструктивные решения днищ резервуаров

Днища резервуаров должны быть:

- плоские отбортованные и не отбортованные;
- конические отбортованные и не отбортованные. Основные типы и

размеры днищ:

- конические отбортованные по ГОСТ 12619, ГОСТ 12621;
- конические неотбортованные по ГОСТ 12620;
- плоские отбортованные по ГОСТ 12622;
- плоские неотбортованные по ГОСТ 12623;
- допускаются другие типы и размеры по согласованию с заказчиком.

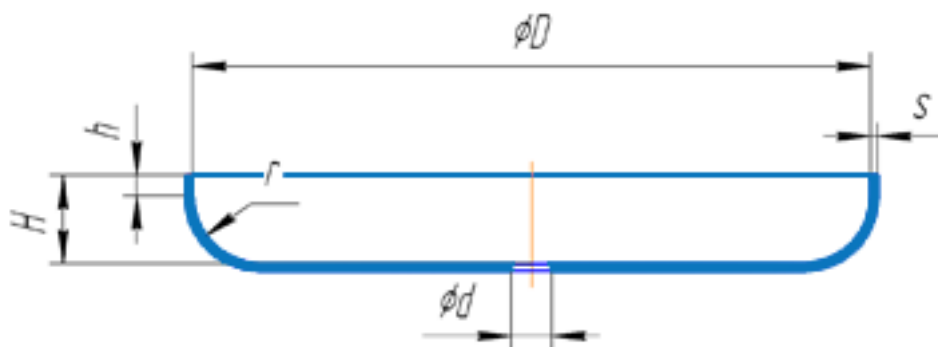


Рисунок 4 – Днище резервуара

Пример условного обозначения: Днище плоское ДП-1000-150-35-10; Внутренний диаметр (D) 1000мм; Радиус закатки (r) 150мм; Высота прямого участка (h) 35мм; Толщина листа (s) 10мм (рисунок – 4).

1.2.4 Межкамерные перегородки

Межкамерные перегородки должны быть двойными во избежание перемешивания нефтепродуктов, содержащихся в соседних камерах, в случае нарушения герметичности одной из перегородок.

Для контроля герметичности межстенного пространства, а также межкамерных перегородок резервуаров следует использовать газообразный азот или специальные жидкости, соответствующие следующим требованиям:

плотность жидкости должна быть выше плотности нефтепродукта, температура вспышки жидкости не должна быть ниже 100 °С, жидкость не должна вступать в реакцию с материалами и веществами, применяемыми в конструкции резервуара, и нефтепродуктом [13].

Диафрагмы, кольца жесткости

Треугольные диафрагмы следует устанавливать внутри резервуара в местах расположения опорных ложементов. Крепление элементов диафрагм к фасонкам выполняется с использованием сварки или болтовых соединений.

Допускается замена треугольных диафрагм сплошными кольцами таврового сечения, обеспечивающими прочность и жесткость опорных сечений резервуара. При этом необходимо предусмотреть возможность слива остатков хранимого продукта из придонных секций резервуара.

Установку колец жесткости проводят при условии, что отношение $\frac{R}{t} \geq 200$ (R - радиус обечайки корпуса резервуара, t - толщина обечайки), а расстояние между ними - 1,5 - 1,8 м в зависимости от ширины вальцованных листов обечайки. В качестве промежуточных колец жесткости следует применять неравнополочные уголки по ГОСТ 8510 сечением:

при $V \leq 40 \text{ м}^3$ - не более L80×60;

при $V \geq 50 \text{ м}^3$ - не более L 100×63.

1.2.5 Оборудование резервуара

Номенклатура устанавливаемого на резервуаре оборудования должна регламентироваться технологической частью проектной документации на резервуар.

В верхней части однокамерных резервуаров должны располагаться люк-лаз (D_y 800) и патрубков для установки оборудования. Применительно к двустенным резервуарам (подземное расположение) люки и патрубки должны быть вынесены на высоту 200 мм над поверхностью земли. Для многока-

мерных резервуаров люки-лазы и технологические патрубки должны быть установлены на каждой камере.

Все отверстия в корпусе и днище резервуара для установки патрубков и люков должны быть усилены накладками, расположенными по периметру отверстий. Толщину накладок принимают равной толщине корпуса или днища резервуара. Допускается установка патрубков условным проходом не более 50 мм включительно без усиливающих накладок.

Диаметр усиливающих накладок должен быть не менее двух диаметров люков или патрубков [14].

2. Анализ методов проектирования горизонтальных резервуаров

2.1 Требования к проектированию

2.1.1 Основные требования

Плотность хранимых в резервуарах нефтепродуктов не более 1300 кг/м³.

Температуры хранимых продуктов: максимальная - не выше плюс 90°C, минимальная - не ниже минус 65 °C.

Рабочее избыточное давление - не более 0,07 МПа (0,7 кг/см²) для резервуаров с коническими днищами и 0,04 МПа (0,4 кг/см²) - для резервуаров с плоскими днищами; рабочее относительное разрежение в газовом пространстве не должно превышать 0,001 МПа (0,01 кг/см²).

Сейсмичность района строительства - не более 7 баллов по картам ОСР-97 при сейсмичности более 7 баллов необходимо выполнение специальных расчетных и конструктивных мероприятий, соответствующих требованиям действующих нормативных документов, регламентирующих строительство зданий и сооружений в сейсмических районах.

Резервуары в неводонасыщенных грунтах обратной засыпки устанавливают при следующих условиях:

- а) плотность грунта - не более 1700 кг/м^3 ;
- б) угол естественного откоса - 30° ;
- в) максимальная высота засыпки грунта над верхней образующей стенки - 1200 мм при отсутствии временных нагрузок на поверхности (кроме снегового покрова).

Резервуары в водонасыщенных грунтах обратной засыпки устанавливаются при следующих условиях:

- а) плотность грунта - не более 1100 кг/м^3 с учетом взвешивающего действия воды;
- б) коэффициент пористости грунта - 0,4;
- в) высота засыпки грунта над верхней образующей стенки-до 1200 мм при отсутствии временных нагрузок на поверхности (кроме снегового покрова);
- г) уровень грунтовых вод - на дневной поверхности земли.

2.1.2 Расчетные требования

Элементы горизонтального цилиндрического резервуара надземного расположения подвергаются воздействию следующих основных нагрузок:

- гидростатическое давление жидкости;
- избыточное давление паров жидкости;
- относительный вакуум;
- собственная масса резервуара;
- сейсмическое воздействие.

Снеговая нагрузка не учитывается ввиду ее незначительного значения.

Ветровая нагрузка должна учитываться применительно к пустому резервуару для предотвращения его опрокидывания за счет принятия конструктивных решений.

Для резервуаров подземного расположения должны учитываться вышеперечисленные нагрузки плюс плотность грунта и снегового покрова.

При расположении резервуара в водонасыщенных грунтах должно учитываться возможное всплытие пустого резервуара, для чего необходимо предусмотреть его анкеровку [15].

При определении продольного нормального усилия (напряжения) в стенке надземного резервуара от действия перечисленных нагрузок допускается рассматривать двухопорную балку кольцевого сечения. В данном случае расстояние между опорами l_0 должно быть $l_0 = 0,586 l_p$, где l_p является полной длиной резервуара.

Для принятого случая расчетный момент M_p в опасном сечении корпуса (в пролете или на опоре) будет составлять

$$M_p \approx \frac{pl_0^2}{47},$$

где p - равномерно распределенная нагрузка от массы резервуара и продукта.

Соответствующие меридиональные напряжения σ_1 в корпусе резервуара должны соответствовать требованию.

Минимальная конструктивная толщина стенки корпуса надземного резервуара должна быть не менее 4 мм, а подземного - не менее 5 мм.

Для резервуаров надземного и подземного расположения требуется проводить поверочный расчет устойчивости стенки резервуара.

2.1.3 Требования к выбору стали

Все конструктивные элементы резервуаров по требованиям к материалам подразделяют на основные и вспомогательные.

К основным конструкциям относят: стенки, днища, перегородки, опорные диафрагмы и кольца жесткости, люки, патрубки, усиливающие накладки, опоры.

К вспомогательным конструкциям относят: лестницы, площадки, переходы и ограждения.

Материалы по химическому составу, механическим свойствам и хладостойкости должны соответствовать требованиям настоящего стандарта, проектной документации и ТУ на изготовление резервуаров [16].

Качество и характеристики материалов должны подтверждаться соответствующими сертификатами.

Для основных конструкций резервуаров должна применяться только углеродистая (полностью раскисленная) сталь обыкновенного качества или низколегированная.

Для вспомогательных конструкций с учетом температурных условий эксплуатации допускается применение углеродистой полуспокойной и кипящей сталей [17].

Листовой прокат углеродистых сталей обыкновенного качества и углеродистых низколегированных сталей следует применять с содержанием серы не более 0,04 % и массовой долей фосфора не более 0,035 % .

Выбор марки стали для конкретного сооружения определяется расчетной температурой металла. За расчетную температуру металла следует принимать наиболее низкое из двух следующих значений:

- 1) минимальная температура складировемого продукта;
 - 2) температура наиболее холодной пятидневки для района строительства.
- Хладостойкость стали определяют при испытаниях на ударный изгиб по ГОСТ 9454.

Для района строительства с расчетной температурой минус 40 °С и выше для основных конструкций допускается использовать малоуглеродистую сталь С245 по ГОСТ 27772.

Требования к ударной вязкости сталей:

- $KCU^{+20} \geq 78 \text{ Дж/см}^2$; $KCU^{-20} \geq 39 \text{ Дж/см}^2$;
- $KCV^{+10} \geq 34 \text{ Дж/см}^2$.

Для района строительства с расчетной температурой ниже минус 40 °С для основных конструкций должна использоваться низколегированная сталь С345 по ГОСТ 27772.

Требования к ударной вязкости сталей:

- а) при расчетной температуре от минус 40 °С до минус 49 °С включительно:

- $KCU^{-50} \geq 39 \text{ Дж/см}^2$;

- $KCV^{-20} \geq 39 \text{ Дж/см}^2$;

б) при расчетной температуре от минус 50 °С до минус 65 °С:

- $KCU^{-70} \geq 29 \text{ Дж/см}^2$;

- $KCV^{-25} \geq 29 \text{ Дж/см}^2$.

Углеродный эквивалент стали C_e для основных конструкций не должен превышать 0,43 %.

Класс сплошности листового проката корпусов резервуаров должен соответствовать классу 1 по ГОСТ 22727.

2.1.4 Требования к сварочным материалам

Характеристики сварочных материалов, применяемые для изготовления резервуаров, должны соответствовать требованиям стандартов, ТУ и рабочей документации на резервуары.

Качество и характеристики сварочных материалов должны быть подтверждены соответствующими сертификатами. При отсутствии сертификата на сварочные материалы необходимо их проверять на соответствие требованиям стандартов и ТУ [18].

2.2. Изготовление конструкций резервуаров

2.2.1 Общие требования

При изготовлении конструкций резервуаров должны соблюдаться требования настоящего стандарта, ТУ конкретного предприятия-изготовителя, а также требования утвержденных технологических операционных карт и проектной документации.

В заказе на поставку металла для резервуаров должны быть указаны следующие требования: марка стали и вид проката по нормативным документам на конкретные виды проката и марки стали, включая требуемые ха-

рактические (механические свойства, ударную вязкость, углеродный эквивалент C_e).

Металл, предназначенный для изготовления резервуара, не должен иметь трещин, закатов, раковин, плен, расслоений и других дефектов.

Допускается зачистка поверхности металлопроката для конструкций резервуара на глубину, не превышающую значений минусового допуска на толщину листа или трубы.

Листовой прокат, предназначенный для изготовления элементов конструкций резервуара, должен соответствовать требованиям ГОСТ 19903. По точности прокатки:

- по толщине (до 12 мм) - нормальной точности Б;
- по плоскостности - нормальной ПН.

В случае, если в документации не указываются более жесткие требования, следующие предельные отклонения размеров заготовок устанавливают по ГОСТ 25346:

- для отверстий Н16;

2.2.2 Сварка конструкций

Заводскую сварку конструкций резервуаров следует выполнять в соответствии с утвержденным технологическим процессом, в котором должны быть предусмотрены:

- требования к форме и подготовке кромок свариваемых деталей;
- способы и режимы сварки, качество сварочных материалов, последовательность выполнения технологических операций [19].

Применяемый вид сварки конструктивных элементов сварных соединений и швов должен соответствовать требованиям:

- для ручной дуговой сварки - сварные соединения по ГОСТ 5264, сварные соединения под острыми и тупыми углами по ГОСТ 11534;
- для автоматической и механизированной сварки под флюсом - сварные соединения по ГОСТ 8713;

- для дуговой сварки в среде защитных газов - сварные соединения по ГОСТ 14771, сварные соединения под острыми и тупыми углами по ГОСТ 23518.

Аттестацию сварочных материалов и технологии сварки конструктивных элементов резервуара проводят с использованием соответствующих процедур.

Способы и режимы сварки элементов конструкций резервуара должны обеспечивать уровень механических свойств и хладостойкости сварных соединений, предусмотренных требованиями проектной документации и настоящего стандарта. Сварные швы должны быть прочноплотными. Прерывистые сварные швы при сварке корпусов резервуаров не допускаются.

Сварка резервуаров при отрицательных температурах (ниже минус 20 °С) должна выполняться с подогревом до 120 °С - 160 °.

2.2.3 Сварные соединения и швы

Термины и определения сварных соединений принимать в соответствии с нормативными документами на сварку.

Стыковое соединение - сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцевыми поверхностями.

Угловое соединение - сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте их примыкания.

Нахлесточное соединение - сварное соединение двух элементов, расположенных параллельно и частично перекрывающих друг друга.

Тавровое соединение - сварное соединение, в котором торец одного элемента приварен под прямым углом к боковой поверхности другого элемента.

Термины и определения сварных швов.

Стыковой шов - сварной шов стыкового соединения с различной разделкой кромок: прямоугольной, Х-образной, К-образной, V-образной.

Угловой шов - сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединения.

Типы сварных швов:

непрерывный шов - сварной шов без промежутков по длине;

прерывистый шов - сварной шов с промежутками по длине, участки шва должны быть не менее 50 мм;

прихватки, выполняемые для фиксации взаимного расположения свариваемых элементов.

Конструктивные элементы сварных соединений и швов, как правило, должны соответствовать требованиям стандартов на применяемый вид сварки:

для ручной дуговой сварки;

для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом;

для дуговой сварки в среде защитных газов.

Общие требования к сварным соединениям

Сварные швы соединений должны быть прочными и соответствовать основному металлу по показателям стандартных механических свойств металла шва: пределу текучести, временному сопротивлению, относительному удлинению, ударной вязкости, углу загиба.

Для улучшения коррозионной стойкости металл шва и основной металл по химическому составу должны быть близки друг к другу.

Технологию сварки следует выбирать таким образом, чтобы избежать возникновения значительных сварочных деформаций и перемещений элементов конструкций.

Ограничения на сварные соединения и швы

Прихватки не рассчитываются на силовые воздействия.

Стыковые соединения деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в таблице могут выполняться так же, как и

деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы разделки кромок и размеры сварочного шва следует выбирать по большей толщине.

Таблица 3 – толщина деталей

Толщина тонкой детали, мм	Допускаемая разница толщины, мм
до 4	1
свыше 4 до 20	2
свыше 20 до 30	3
свыше 30	4

При разности в толщине свариваемых деталей выше значений, указанных в табл. 3.1, на детали, имеющей большую толщину, должен быть сделан скос под углом 15° с одной или с двух сторон до толщины тонкой детали. При этом конструкцию разделки кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Не допускается смещение свариваемых кромок более:

- а) 1,0 мм - для деталей толщиной $t = 4 \div 10$ мм;
- б) $0,1 t$ - для деталей толщиной $t = 10 - 40$ мм, но не более 3 мм.

Максимальные катеты угловых сварных швов не должны превышать 1,2 толщины более тонкой детали в соединении.

Для деталей толщиной 4 - 5 мм катет углового сварного шва должен быть равен 4 мм.

Для деталей большей толщины катет углового шва определяется расчетом или конструктивно, но должен быть не менее 5 мм.

Заводские сварные соединения рулонных заготовок выполняются встык.

Нахлесточное соединение со сваркой с одной стороны допускается при сборке днища и крыши из рулонных заготовок с величиной нахлестки не менее 30 мм. При полистовой сборке днищ и крыш допускаются сварные соединения листов встык на подкладке и нахлесточные соединения с величиной нахлестки $5 t$, но не менее 30 мм.

Применяемые соединения

Вертикальные соединения стенки.

Вертикальные соединения стенки должны быть стыковыми с полным проплавлением по толщине листов:

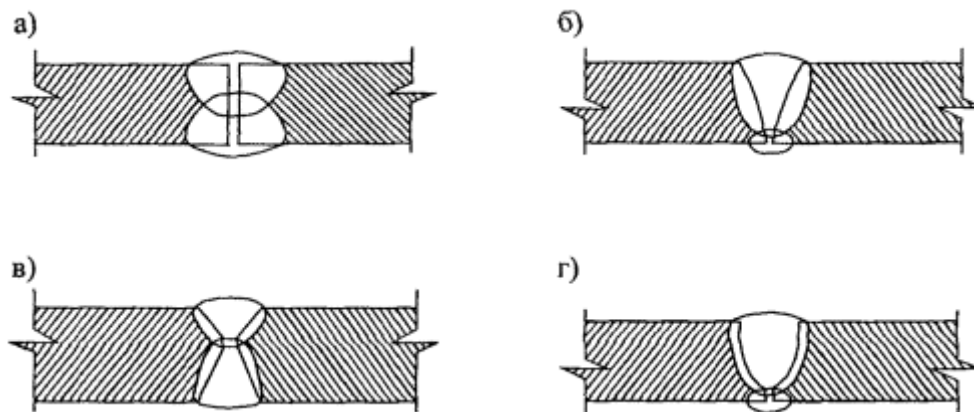


Рисунок - 5 Вертикальные стыковые соединения стенки

а - без разделки кромок; б - со скосом двух кромок; в - с двумя скосами кромок; г - с криволинейным скосом кромок.

Вертикальные соединения листов в прилегающих поясах стенки должны быть смещены относительно друг друга на расстояние не менее $8t$, где t - наибольшая из толщин листов прилегающих поясов (рисунок 5).

Для резервуаров II и III класса при изготовлении стенки из рулонных полотен допускаются вертикальные заводские и монтажные стыковые соединения без смещения.

Расстояния между швами патрубков, усиливающих листов и швами стенки должны быть не менее: до вертикальных швов - 250 мм, до горизонтальных швов - 100 мм.

Вертикальные соединения первого пояса стенки должны располагаться на расстоянии не менее 100 мм от стыков окроек днища [20].

Горизонтальные соединения стенки.

Горизонтальные соединения листов должны выполняться двусторонними стыковыми швами с полным проплавлением (рисунок 6).

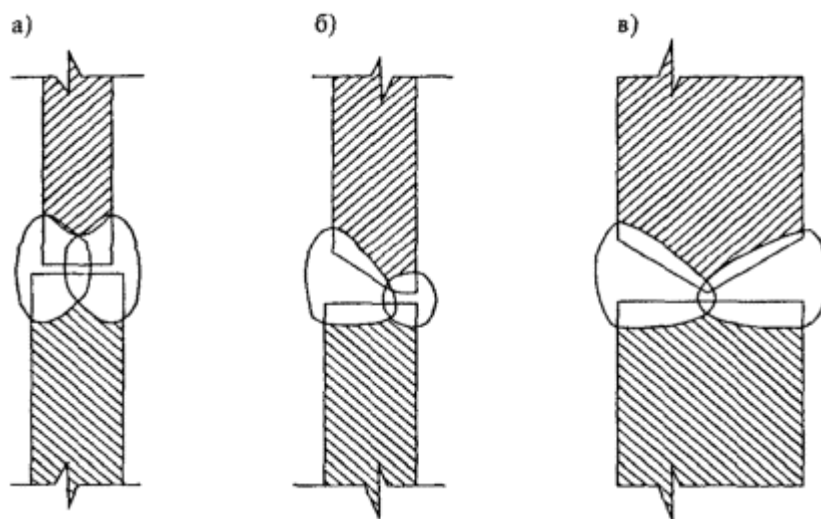


Рисунок 6 - Горизонтальные стыковые соединения стенки

а) без разделки кромок; б) с криволинейным скосом одной кромки верхнего листа; в) с двумя скосами одной кромки верхнего листа.

Листы вышележащего пояса должны располагаться в пределах толщины листа нижележащего пояса. Взаимное расположение листов соседних поясов устанавливается проектом.

Соединения днища

Стыковые соединения применяются при заводском изготовлении рулонированных полотнищ днищ. Стыковые соединения на остающейся подкладке применяются для сварки кольцевых окراек, а также при полистовой сборке центральной части днищ.

Нахлесточные соединения днища применяются для соединения между собой рулонированных полотнищ днищ, листов центральной части днищ при их полистовой сборке, а также для соединения центральной части днищ с кольцевыми окрайками [21].

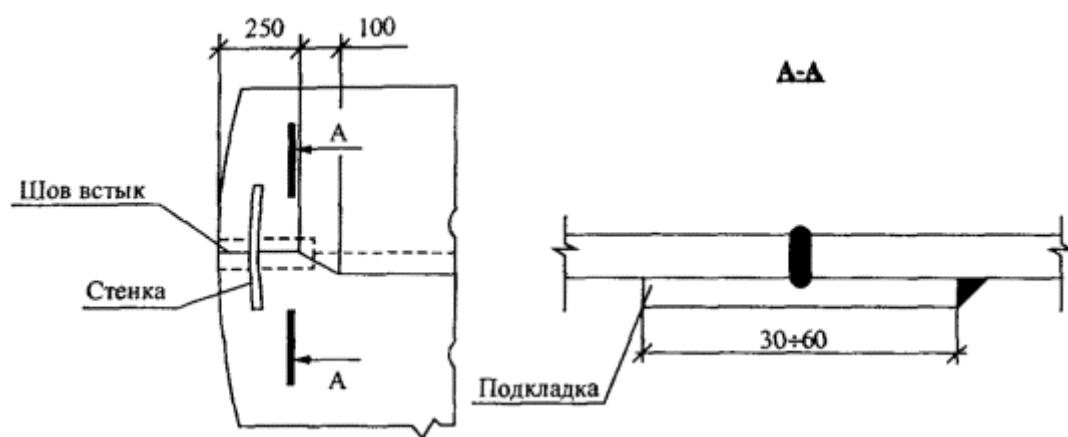


Рисунок 7 - Соединения полотнищ днища

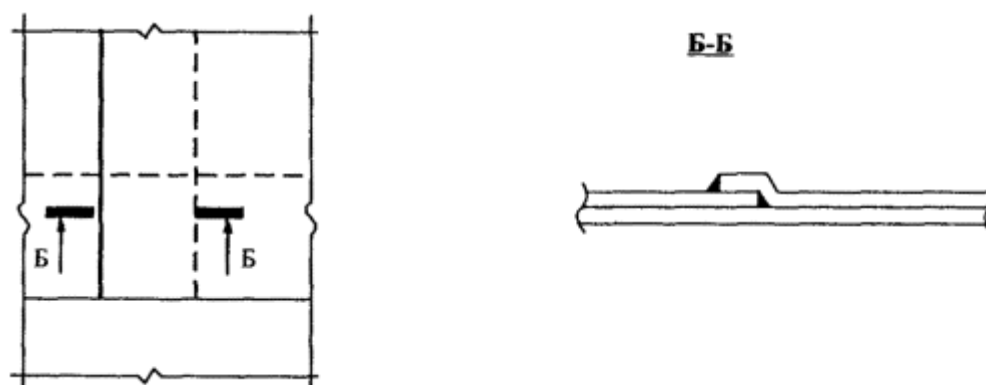


Рисунок 8 - Соединение листов центральной части днища

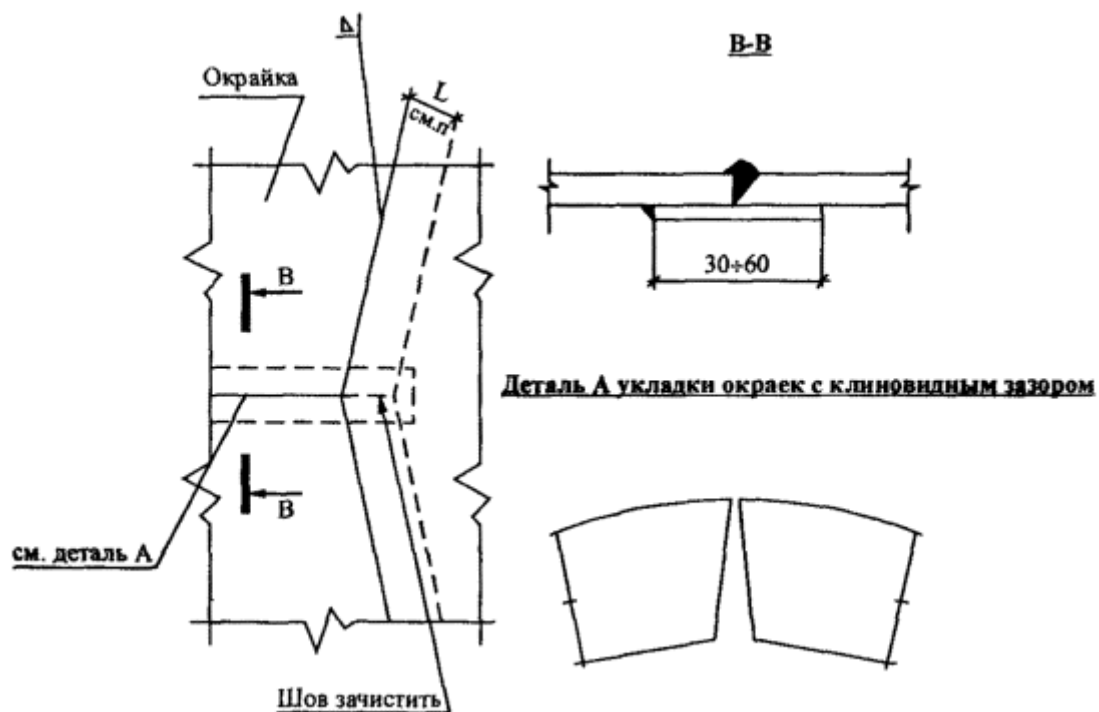


Рисунок 8 - Соединение центральной части с окрайками днища

Соединение днища со стенкой.

Для соединения днища со стенкой применяется тавровое соединение. Для резервуаров с толщиной листов нижнего пояса стенки 20 мм и менее рекомендуется тавровое сварное соединение без разделки кромок. Размер катета каждого углового шва должен быть не более 12 мм и не менее номинальной толщины окрайки (рисунок 7).

Для резервуаров с толщиной листов нижнего пояса стенки более 20 мм должно применяться тавровое сварное соединение с разделкой кромок. Сварные швы должны выполняться, как минимум, в два прохода [22].

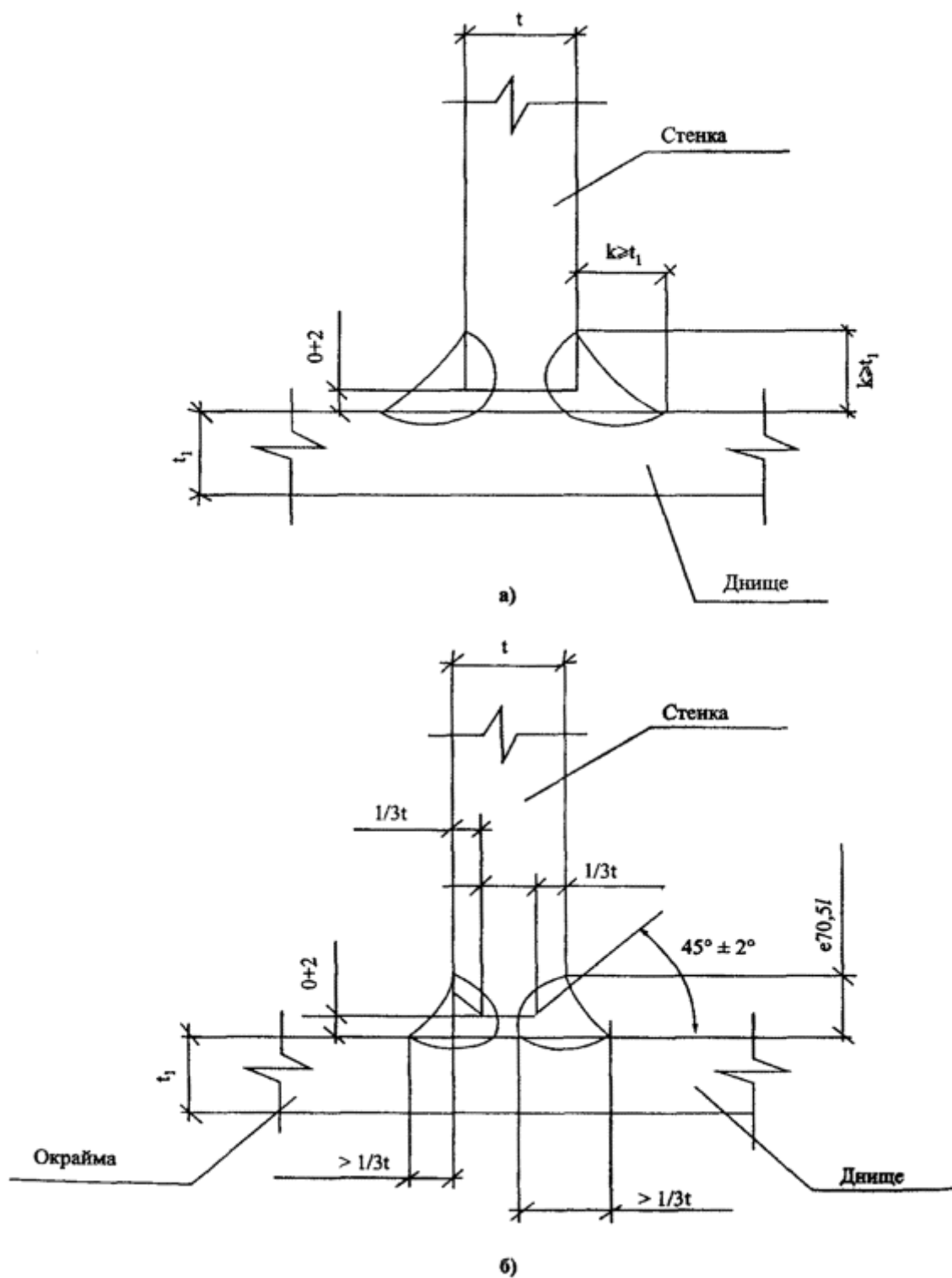


Рисунок 9 - Соединение днища со стенкой.

Соединение листов крыши.

Для соединения листов крыши применяются стыковые и нахлесточные соединения.

Соединения стационарной крыши со стенкой резервуара (рисунок 9).

Требования к сварным соединениям

Механические свойства сварных соединений должны быть не менее:

- временное сопротивление разрыву при температуре 20 °С - не менее значения временного сопротивления основного металла по стандарту или техническим условиям на конкретную марку стали;
- ударная вязкость - не менее: $KCU+20 \geq 78 \text{ Дж/см}^2$, $KCU-20 \geq 39 \text{ Дж/см}^2$.

В сварных соединениях не допускаются следующие дефекты:

- трещины всех видов;
- свищи и пористость наружной поверхности шва;
- подрезы глубиной более 0,25 мм, протяженность более 10 % длины шва;
- наплывы, прожоги и незаплавленные кратеры;
- смещение кромок свариваемых элементов более 10 % номинальной толщины свариваемых элементов;
- угловатость f в стыковых сварных соединениях более $f = (0,1t + 3) \text{ мм}$ местный внутренний непровар, расположенный в зоне смыкания корневых швов, глубиной более 10 % толщины стенки и суммарной протяженностью более 5 % длины шва.

Контроль качества сварных соединений

Общие требования

Контроль качества поверхностей резервуара на наличие трещин, закатов, расслоений, снижающих качество продукции, следует проводить визуальным осмотром [23].

Контроль качества сварных соединений следует проводить:

- а) визуальным осмотром и измерением;

- б) механическими испытаниями;
- в) физическими методами;
- г) методом цветной или магнитопорошковой дефектоскопии.

Визуальный контроль, включая измерения, необходимо проводить после очистки швов и прилегающих поверхностей от шлака, брызг и других загрязнений. Контролю и измерению подлежат все сварные швы для выявления наружных недопустимых дефектов [24].

Механические испытания

Механические испытания следует проводить на контрольных стыковых соединениях:

- растяжение при температуре 20 °С - на двух образцах;
- изгиб при температуре 20 °С - на двух образцах;
- ударная вязкость КСЧ-20 - на двух образцах (околошовная зона).

Контроль физическими методами

Метод контроля качества сварных соединений элементов резервуара определяется в соответствии с требованиями нормативных документов по промышленной безопасности. Обязательному радиографическому или ультразвуковому контролю подлежат:

- а) стыковые, угловые, тавровые сварные соединения, доступные для этого контроля в объеме не менее 25 %;
- б) места пересечений сварных соединений.

Места контроля сварных соединений физическими методами должны быть указаны в рабочей документации на резервуар.

Цветная и магнитопорошковая дефектоскопия

Цветной и магнитопорошковой дефектоскопией контролируют сварные швы конструктивных элементов, недоступные для осуществления контроля физическими методами. Объем контроля определяется в соответствии с требованиями нормативных документов по промышленной безопасности и проектной документации на конкретный резервуар [25].

Контрольные сварные соединения для аттестации технологии сварки

Данные сварные соединения контролируют физическими методами по всей их длине.

Для оценки качества технологического процесса сварки выполняют механические испытания образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений.

2.2.4 Испытания резервуаров

Гидравлическому испытанию подвергают резервуары после их изготовления до нанесения антикоррозионной защиты [4].

Гидравлическое испытание резервуаров, транспортируемых частями и монтируемых на производственных площадках, допускается проводить после их монтажа.

Испытательное давление резервуаров должно составлять 1,25 рабочего. Предельное отклонение значения испытательного давления не должно превышать $\pm 5 \%$.

Время выдержки под гидравлическим испытательным давлением должно быть не менее 10 мин. После выдержки давление снижают до рабочего, при котором проводят визуальный осмотр наружной поверхности и проверку герметичности сварных и разъемных соединений [7].

Допускается гидравлические испытания заменять пневматическими давлением 0,07 МПа для резервуаров с коническими днищами и 0,04 МПа - с плоскими днищами.

Контроль герметичности резервуаров при пневмоиспытаниях проводится методом обмыливания 100 % сварных швов и разъемных соединений.

При проведении пневматических испытаний необходимо обеспечить специальные мероприятия по безопасности.

Контроль герметичности наружной (защитной) стенки двухстенного резервуара должен проводиться с использованием пневмоиспытаний под давлением до 0,001 МПа методом обмыливания 100 % сварных швов [13].

Контроль сварных швов на герметичность допускается проводить капиллярным методом (смачиванием керосином) в объеме 100 % швов. Время выдержки при испытании смачиванием керосином должно быть:

- в нижнем положении сварного шва - не менее 25 мин;
- в потолочном вертикальном положении сварного шва - не менее 35 мин.

Перед испытанием контролируемые сварные швы и прилегающие участки основного металла должны быть очищены от шлака и загрязнений.

Результаты испытаний считают удовлетворительными, если в процессе их проведения отсутствуют:

- падение давления по показаниям манометра;
- отпотины, течи, пузырьки воздуха;
- признаки разрыва.

Требования к защите резервуаров от коррозии

Антикоррозионная защита наружной и внутренней поверхностей должна проводиться в соответствии с требованиями рабочей документации на резервуар.

Срок службы и обеспечение безопасной эксплуатации резервуаров

Общий срок службы резервуаров должен обеспечиваться выбором материала, учетом температурных и коррозионных воздействий, нормированием дефектов сварных соединений, допусками на изготовление и монтаж металлоконструкций, способами защиты от коррозии и назначением регламента обслуживания [26].

Расчетный срок службы резервуаров регламентируется коррозионным износом конструкций.

При наличии антикоррозионной защиты конструкций расчетный срок службы резервуара должен обеспечиваться установленной в проектной документации системой защиты от коррозии, имеющей гарантированный срок службы не менее восьми лет [5].

Общий срок службы резервуара назначается заказчиком или определяется при проектировании по технико-экономическим показателям, согласованным с заказчиком. Общий срок службы резервуара включает в себя регламентные работы по обслуживанию и ремонту резервуаров.

Регламентные работы должны включать в себя диагностирование: металлоконструкций; основания; фундамента (для наземных) резервуаров; всех видов оборудования, обеспечивающих безопасную эксплуатацию резервуара в целом [27].

Обеспечение безопасной эксплуатации резервуаров

Эксплуатация резервуаров должна осуществляться в соответствии с инструкцией по надзору и обслуживанию, утвержденной руководителем эксплуатирующего предприятия.

Безопасность эксплуатации резервуара должна обеспечиваться проведением регулярного диагностирования с оценкой технического состояния, испытаний и проведением (при необходимости) ремонтов [1].

Периодичность частичного диагностирования, включающего в себя наружный и внутренний осмотр резервуара, - не реже одного раза в четыре года.

Полное диагностирование, включающее в себя проверку физическими методами сварных швов рабочего корпуса резервуара и проведения испытаний резервуара на герметичность, должно проводиться не реже одного раза в восемь лет.

Диагностирование резервуаров должно проводиться аттестованными специалистами экспертной организации, имеющей лицензию надзорного органа по промышленной безопасности [17].

Конкретные сроки диагностирования назначаются экспертной организацией.

Правила приемки

Каждый резервуар принимают по следующим параметрам:

- соответствие габаритных и присоединительных размеров;
- качество материалов, сварных швов;
- результаты испытаний;
- качество антикоррозионного покрытия;

- комплектность резервуара, его маркировка, консервация.

Комплектность поставки

В комплект поставки резервуара должны входить:

- резервуар (в сборе или отправочными марками);
- паспорт, оформленный в соответствии с ГОСТ 2.601;
- комплектующие резервуара согласно рабочей документации; - документация;
- ведомость комплектации.

Транспортная маркировка

На резервуар должна быть нанесена транспортная маркировка, включающая в себя манипуляционные знаки, основные, дополнительные и информационные надписи.

Размеры знаков, объем основных, дополнительных и информационных надписей, а также место и способы нанесения транспортной маркировки - по ГОСТ 14192.

Транспортирование и хранение

Резервуары перевозят любым видом транспорта в соответствии с правилами, действующими на транспорте конкретного вида.

Все отверстия, патрубки, штуцеры и присоединительные фланцы оборудования, а также постановочных блоков и узлов резервуаров закрывают пробками или заглушками для защиты от повреждений и загрязнений уплотнительных поверхностей.

При отгрузке сосудов без тары техническая документация крепится непосредственно к резервуару [28].

Условия транспортирования и хранения резервуаров и их элементов должны обеспечивать сохранность качества резервуаров, предохранять их от загрязнения, механических повреждений и деформаций.

Указания по монтажу

Монтаж резервуаров должен проводиться в соответствии с требованиями проекта производства работ.

Надземная установка резервуаров проводится на двух седловых опорах, имеющих ложементы, свальцованные с углом охвата от 60° до 120° , или на стоечных опорах.

Подземную установку резервуаров выполняют на песчаной подушке толщиной не менее 200 мм от нижней образующей с углом охвата не менее 90° .

В водонасыщенных грунтах должна быть установлена анкеровка резервуара к железобетонной плите с использованием хомутов.

Срок службы и обеспечение безопасной эксплуатации резервуаров

Общий срок службы резервуаров должен обеспечиваться выбором материала, учетом температурных и коррозионных воздействий, нормированием дефектов сварных соединений, допусками на изготовление и монтаж металлоконструкций, способами защиты от коррозии и назначением регламента обслуживания.

Расчетный срок службы резервуаров регламентируется коррозионным износом конструкций. При наличии антикоррозионной защиты конструкций расчетный срок службы резервуара должен обеспечиваться установленной в проектной документации системой защиты от коррозии, имеющей гарантированный срок службы не менее восьми лет.

Общий срок службы резервуара назначается заказчиком или определяется при проектировании по технико-экономическим показателям, согласо-

ванным с заказчиком. Общий срок службы резервуара включает в себя регламентные работы по обслуживанию и ремонту резервуаров [29].

Регламентные работы должны включать в себя диагностирование металлоконструкций; основания; фундамента (для наземных) резервуаров; всех видов оборудования, обеспечивающих безопасную эксплуатацию резервуара в целом.

Обеспечение безопасной эксплуатации резервуаров

Эксплуатация резервуаров должна осуществляться в соответствии с инструкцией по надзору и обслуживанию, утвержденной руководителем эксплуатирующего предприятия.

Безопасность эксплуатации резервуара должна обеспечиваться проведением регулярного диагностирования с оценкой технического состояния, испытаний и проведением (при необходимости) ремонтов.

Периодичность частичного диагностирования, включающего в себя наружный и внутренний осмотр резервуара, – не реже одного раза в четыре года.

Полное диагностирование, включающее в себя проверку физическими методами сварных швов рабочего корпуса резервуара и проведение испытаний резервуара на герметичность, должно проводиться не реже одного раза в восемь лет.

Диагностирование резервуаров должно проводиться аттестованными специалистами экспертной организации, имеющей лицензию надзорного органа по промышленной безопасности.

Конкретные сроки диагностирования назначаются экспертной организацией.

Указания по монтажу

Монтаж резервуаров должен проводиться в соответствии с требованиями проекта производства работ.

Надземная установка резервуаров проводится на двух седловых опорах, имеющих ложементы, свальцованные с углом охвата от 60° до 120° или на стоечных опорах.

Подземную установку резервуаров выполняют на песчаной подушке толщиной не менее 200 мм от нижней образующей с углом охвата не менее 90° .

В водонасыщенных грунтах должна быть установлена анкеровка резервуара к железобетонной плите с использованием хомутов.

В настоящее время на складах ГСМ находится в эксплуатации значительное количество горизонтальных резервуаров, изготовленных по ГОСТ 17032-71. Данные резервуары обеспечивают хранение темных и светлых нефтепродуктов и специальных жидкостей. Конструктивно они состоят из следующих основных элементов: корпуса, днища и горловины. Расположение поясов может быть ступенчатое (сварка внахлестку) или гладкое (сварка встык). Днище (рисунок 3) может быть цельным или состоять из отдельных частей, соединенных сваркой встык или внахлестку. В резервуарах вместимостью > 50 м³ для увеличения жесткости приваривают кольца жесткости из уголкового стали сечением 50х50 мм. Снаружи к корпусу приваривают опоры из стали с центральным углом охвата 90° .

Резервуары изготовлены, как правило, из листовой стали. Для изготовления применяют мартеновскую, бессемеровскую или спокойную томассовскую стали. Резервуары способны работать при избыточных давлениях до 2,5 МПа и вакууме 0,9 МПа. С 1956 г. были разработаны типовые проекты № 6-02-60, № 7-02-65, предусматривающие изготовление резервуаров вместимостью 3–75 м³. В 1969 г. ЦНИИ Проектстальконструкция создал на горизонтальный сварной резервуар для нефтепродуктов типовой проект 704-1-42. В

1975 г. Главнефтеснабом РСФСР введены типовые проекты на стальные горизонтальные резервуары, разработанные Южгипронефтепроводом, вместимостью 5, 10, 25, 50, 75, 100 м³. Эти резервуары эксплуатируют в районах с наружной температурой по строительной части – 65 °С и по оборудованию до – 40 °С.

Расчет резервуаров в условиях эксплуатации обязателен при низком стоянии грунтовых вод. Он сводится к определению массы якорей, предотвращающих всплытие резервуара.

Резервуар не всплывает, если:

$$(M_p + M_{гр}) g > n_{3у} P_v V_v ,$$

где M_p – масса резервуара;

$M_{гр}$ – масса призмы грунта, расположенной над резервуаром;

g – ускорение свободного падения;

$n_{3у}$ – коэффициент запаса устойчивости;

P_v – плотность грунтовой воды;

V_v – объем части резервуара, погруженной в воду.

Если в этой формуле правая часть больше левой, резервуар снабжают якорями, масса которых $M_{я} = n_{3у} P_v V_v - M_p$.

Якоря прикрепляют к хомутам стягивающей полосы, обжимающей корпус.

Каждую группу наземных резервуаров ограждают земляным валом высотой 1,5 м и шириной поверху 0,5 м или стенкой из несгораемых материалов высотой 1,5 м, способных выдержать гидростатическое давление разлившейся жидкости. Объем обвалования должен равняться вместимости отдельно обвалованного резервуара или вместимости большого резервуара для группы резервуаров. В зоне обвалования устанавливают не менее двух лестниц (переходов) для отдельно стоящих резервуаров, не менее четырех – для группы резервуаров. С внутренней и наружной стороны обвалования создают кюветы для отвода сточных вод в канализацию. Внутреннюю кювету оборудуют задвижкой, предотвращающей самопроизвольный сток в канализацию разлившегося топлива, и соединяют трубопроводом с подземной емкостью, в

которую собирают пролитый нефтепродукт. Управление задвижками располагают с внешней стороны обвалования. Между отдельными группами резервуаров и по границе зон хранения оборудуют пожарные проезды шириной не менее 3,5 м. Внутри обвалования группы устраняют внутренний земляной вал или стенку, которая делит резервуарную группу на части вместимостью не более 20000 м³ [6].

Таблица 4 - Основные технические характеристики горизонтальных цилиндрических резервуаров

Показатель	Условный объем резервуара, м ³				
	10	25	50	75	100
Вместимость резервуара, м ³	10,5 - 11,5 (—)	25,4-28,5 (26,5-28,5)	50,2-54,4 (51,7-54,6)	73,4-83,4 (74,6-84,8)	97,5-100,6 (98,9-101,4)
Наружный диаметр, мм	220 (—)	2862-2870 (2862-2870)	2862-2870 (2862-2870)	3238-3250 (3238-3250)	3238-3250 (3238-3250)
Наружная длина, мм	2823 - 3073 (—)	4035-4274 (4645-4924)	7885-8383 (8545-9130)	8958-10126 (9590-10758)	11888-12132 (12520-12764)
Общая масса металла, кг	1013 - 1049 (—)	1772-1898 (1831-1894)	3148-3339 (3200-3343)	4181-4499 (4250-4583)	5305-5375 (5311-5405)
Примечание: в скобках указаны размеры резервуаров с коническими днищами.					

Для расходных резервуаров систем ЦЗС этого оборудования недостаточно, так как к ним предъявляются более жесткие требования к обеспечению выдачи топлива из верхних, наиболее отстоявшихся слоев; надежной защите топлива от попадания в него пыли и влаги из атмосферы, а также продуктов коррозии, которые могут образовываться на внутренних стенках резервуаров. Для выполнения этих требований на расходных резервуарах необходимо устанавливать дополнительное специальное оборудование, а внутренние их поверхности покрывать антикоррозионными материалами.

В качестве дополнительного оборудования используются плавающие топливозаборные устройства для верхнего забора топлива, воздушные фильтры, устройства для удаления отстоя, а также плавающие крыши и понтоны.

Авиатопливо должно храниться в горизонтальных и вертикальных резервуарах с неподвижной крышей. Новые резервуары должны быть сконструированы таким образом, чтобы не допустить попадание в них воды и грязи, обеспечить легкий слив отстоя из резервуаров. Для горизонтальных резервуаров предусматривается минимальный угол наклона в отношении 1:50 в сторону устройства слива отстоя, а вертикальные резервуары должны иметь конусообразное днище с наклоном 1:30 к центру отстойника.

Для внутренних поверхностей резервуаров в качестве антикоррозионных покрытий применяются: металлизация, эмалирование, лакокрасочные материалы, стеклопласт на основе полиэфирных и эпоксидных смол [30].

Таблица 5 - Основные характеристики оборудования резервуаров

Оборудование	Марка		Размеры, мм		Пропускная способность, м3/ч
Условный диаметр			Диаметр фланца		
Приемо-раздаточные	ППР-80	80	220	До 50	

патрубки				
ППР-100	100	240	50 – 100	
ППР-150	150	300	100 – 200	
ППР-200	200	350	200 – 300	
ППР-300	300	520	600 – 1200	
Плавающие	ПУВ-100	100	210	70 – 120
топливоза- борные уст- ройства	ПУВ-150	150	265	150 – 200
ПУВ-250	250	371	300 – 500	
Хлопушки	Х-80	80	190	–
Х-100	100	210	–	
Х-150	150	265	–	
Х-200	200	320	–	
Х-250	250	371	–	
Х-300	300	440	–	
Механиче- ские дыха- тельные	КД-50	50	450	До 25
клапаны	КД-100	100	500	60 – 72
КД-150	150	550	118 – 142	
КД-200	200	600	206 – 240	
КД-250	250	650	244 – 304	
Гидравличе- ские	КПСА-100	100	205	50
предохрани- тельные кла- паны	КПСА-150	150	260	100
КПСА-200	200	315	200	

КПСА-250		250		370		300	
КПСА-350		350		485		600	
Огневые пре- дохранители	ОПЛ-50	50		140		—	
ОПЛ-80		80		190		—	
ОПЛ-100		100		210		—	
ОПЛ-150		150		265		—	
ОПЛ-200		200		320		—	
ОПЛ-250		250		375		—	

3. Проектирование и расчет резервуара

3.1. Техническое задание

Разработка проектно-конструкторской документации на стальной горизонтальный цилиндрический резервуар выполняется на основании Технического задания на проектирование.

Технология разработки проектно-конструкторской документации на стальной горизонтальный цилиндрический резервуар включает в себя следующие основные этапы:

- 1) определение и назначение материалов, используемых для элементов стенки, днища и крыши резервуара;
- 2) определение и назначение сварочных материалов, используемых для изготовления и монтажа строительных конструкций резервуара;
- 3) определение геометрических размеров резервуара или их назначение из типового ряда;
- 4) расчет и конструирование днища резервуара;

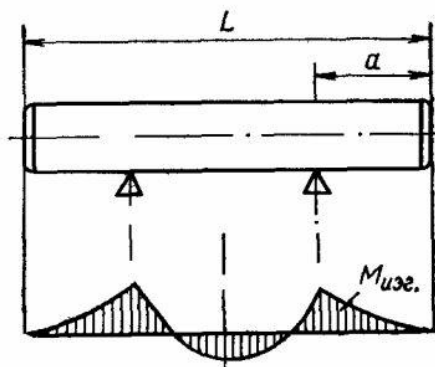
- 5) расчет и конструирование стенки резервуара;
- 6) расчет и конструирование крыши резервуара;
- 7) разработка конструктивных решений люков-лазов и патрубков на стенке и крыше;
- 8) разработка технологического оборудования на резервуар;
- 10) разработка конструктивных решений элементов молниезащиты.

3.2 Расчет и оптимизация конструкции резервуара

Горизонтальные цилиндрические резервуары испытывают действие внутреннего давления и весовых нагрузок. Корпус резервуара необходимо рассчитывать на прочность от действия давления и на устойчивость при изгибе от действия весовых нагрузок.

Расчет на прочность от действия давления проводят аналогично расчету тонкостенной оболочки нагруженной внутренним давлением, причем расчетное давление в формуле принимают как суммарное гидростатическое и избыточное газовое давление ($P = P_{изб} + \gamma \times D$, где γ - удельный вес жидкости).

При расчете на изгиб резервуар рассматривают как балку, лежащую на опорах и нагруженную равномерно распределенной нагрузкой $q = G / L$, где G – вес аппарата вместе с содержимым; L – длина аппарата [21].



В середине резервуара изгибающий момент

$$M_1 = \frac{G \times (L - 4 \times a)}{8}$$

где a – длина концов аппарата, консольно выступающих за опору.

Изгибающий момент над опорой

$$M_2 = \frac{q \times a^2}{2}$$

После определения моментов M_1 и M_2 проверяют прочность стенки при совместном действии изгиба и давления.

Меридиональные напряжения в середине резервуара

$$\sigma_{M1} = \frac{p \times D}{4 \times (s - c)} + \frac{1,275 \times M_1}{D^2 \times (s - c)}$$

над опорой

$$\sigma_{M1} = \frac{p \times D}{4 \times (s - c)} \pm \frac{1,275 \times M_2}{k_1 \times D^2 \times (s - c)}$$

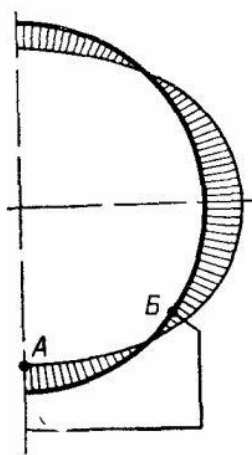
где k_1 - коэффициент, определяемый по графику [4, с.117, рис.101]

Полученные меридиональные напряжения должны удовлетворять условию:

$$\sigma_{m1} \leq \varphi \times [\sigma], \quad \sigma_{m2} \leq \varphi \times [\sigma]$$

где φ - коэффициент прочности сварного шва.

В корпусе горизонтального резервуара наряду с меридиональными напряжениями действуют кольцевые напряжения, которые стремятся деформировать круглую оболочку и придать ей форму эллипса.



Кольцевые напряжения в середине опоры (точка А)

$$\sigma_{k1} = \frac{k_2 \times Q}{2 \times (s - c) \times l_{эф}}$$

у края опоры (точка Б)

При $L/D \geq 4$

$$\sigma_{к2} = \frac{Q}{(s - c)^2} \times \left(\frac{s - c}{4 \times \ell_{эф}} + 1,5 \times k_3 \right)$$

При $L/D < 4$

$$\sigma_{к2} = \frac{Q}{(s - c)^2} \times \left(\frac{s - c}{4 \times \ell_{эф}} + 6 \times k_3 \times \frac{L}{D} \right)$$

где k_2, k_3 - коэффициенты, определяемые по графикам в зависимости от угла обхвата емкости опорой [4, с.117, рис.103, 104];

$\ell_{эф} = b + 1,1 \times \sqrt{D \times (s - c)}$ или $\ell_{эф} = b + 30 \times (s - c)$ - эффективная длина обечайки (из двух значений принимают наименьшее);

b – ширина опоры.

Полученные кольцевые напряжения должны удовлетворять условию:

$$\sigma_{к1} \leq \varphi \times [\sigma], \quad \sigma_{к2} \leq \varphi \times [\sigma]$$

Если последние условия прочности не выполняются, то под опорой необходим подкладной лист.

Если между опорой и корпусом находится подкладной лист, то при расчете кольцевых напряжений вместо s необходимо подставить суммарную толщину обечайки и подкладного листа, но не более $2s$.

Для решения задачи оптимального проектирования используем метод математического моделирования. Исследование объектов с помощью этого метода позволяет проникнуть в сущность изучаемых объектов и дает возможность решения многокритериальных задач.

Одним из методов математического моделирования является предложенный Уайлдом метод последовательной частной оптимизации [7], используемый при решении инженерных задач, в случае, когда в задаче имеется несколько переменных. Суть метода заключается в том, что несколькими переменными оперируют поочередно, а не одновременно т.е. на каждом этапе оптимизация производится лишь для одной из переменных [9], при этом используется свойство монотонности функций, которое преобладает в инженерных задачах по оптимизации конструкций.

Решим задачу выбора оптимальных размеров для горизонтального цилиндрического резервуара высокого давления для хранения сжиженного газа. Объем резервуара примем $V=100\text{м}^3$, внутреннее давление $p=0,18\text{кН/см}^2$;

Имеем следующие переменные: S – толщина стенки; r – внутренний радиус; l – длина резервуара; t – толщина днища.

На первом этапе решения задачи определим, как меняется стоимость днища t в зависимости от переменных S, r, l .

Общая стоимость изготовления резервуара зависит от S, r, l, t , т.е. необходимо минимизировать функцию стоимости $C(t, S, r, l)$. Рассматриваем t и определяем, что меняется в стоимости объекта в зависимости от изменения t . Очевидно, что в первую очередь меняется стоимость днища. Поскольку стоимость днища зависит вообще от объема V стали умноженный на стоимость стали, при этом стоимость стали принимается постоянной, значит стоимость днища меняется в зависимости от

объема стали V или от переменных r и t . Соответственно имеем стоимость днища $C(t,r)$ – функция от радиуса и толщины.

Так как общая стоимость резервуара достигает минимума, когда минимизировано днище по t , то возможные значения других переменных на данном этапе оптимизации не рассматриваем.

Примем, что нижняя граница для функции $C(t,r)$ при постоянном r , может быть определена как $\min C(t,r)$, т.е. $C(t,r) \geq \min_t C(t,r)$ – частный минимум функции по t , т.е. мы меняем только t . Процесс определения $\min_t C(t,r)$ называется частная оптимизация по переменной t .

Общую стоимость резервуара представим в виде суммы стоимости днища $C(t,r)$ и стоимости стенки $C(S,r,l)$ причем стоимость стенки не зависит от t .

Рассматриваем весь объект относительно первой переменной t . Последовательная частная минимизация общей стоимости резервуара относительно t , состоит в том, чтобы найти

$$\min_t [C(t,r) + C(S,r,l)] = \min_t C(t,r) + \min_t C(S,r,l) = \min_t C(t,r) + C(S,r,l)$$

т.к. функция $C(S,r,l)$ не зависит от t .

В представленном уравнении частный минимум общей стоимости зависит от всех переменных задачи, кроме t , поскольку t – минимизируемая переменная и значение этой переменной оптимизируется вне оптимизации функции общей стоимости.

В конечном счете нас интересует минимизация общей стоимости резервуара по всем четырем переменным, что может быть записано как:

$$\min_{t,S,r,l} [C(t,r) + C(S,r,l)] \quad (1)$$

Требуемый результат можно получить определив частный минимум по t и минимизируя полученную функцию по всем остальным переменным. Последовательность этих операций представляется как:

$$\min_{S,r,l}(\min_t(C(t,r)+C(S,r,l)))=\min_{S,r,l}(\min_t C(t,r)+C(S,r,l)) \quad (2)$$

Два минимума функции общих затрат (1) и (2) должны быть равны между собой. $\min_{t,S,r,l}[C(t,r)+C(S,r,l)]=\min_{S,r,l}[\min_t C(t,r)+C(S,r,l)]$

Правая часть данного уравнения указывает на то обстоятельство, что исходную задачу, включающую четыре переменные, следует решать на первом этапе путем частной оптимизации по t .

Для этого достаточно исследовать функцию, характеризующую стоимость днища и установить ограничение по t вида $t \geq H \cdot r$.

Согласно Справочнику проектировщика [10] сферические днища рассчитываются на прочность по формуле:

$$\sigma = \gamma_f \cdot 2 \cdot h \leq \gamma_c \cdot R, \text{ откуда } t = p \cdot \gamma_f \cdot r^2 \cdot R \cdot \gamma_c$$

Примем $H = p \cdot \gamma_f \cdot 2 \cdot R \cdot \gamma_c$, тогда

Для стали марки 09Г2С-15 (С345) при толщине $t = 20 \div 40$ мм; $R_y = 29$ кН/см²;

$\gamma_c = 0,8$ – коэффициент условия работы;

$\gamma_f = 1,2$ – коэффициент надежности по нагрузке для внутреннего давления.

$$\text{Получим } H = 0,18 \cdot 1,22 \cdot 29 \cdot 0,8 = 4,7 \cdot 10^{-3}$$

Задача последовательной частной оптимизации состоит в определении $\min_t C(t,r)$ с учетом ограничения (условий прочности для днища). При этом радиус r временно принимается как постоянная величина, а H – как пара-

метр, который может принимать соответствующие значения для различных проектных характеристик.

Стоимость днища пропорциональна объему металла и является возрастающей функцией от t , которая имеет вид.

$$\text{Объем стали днища } V=2\cdot\pi\cdot r^2\cdot t,$$

Обозначим константу 2π как параметр стоимости днища Ct ,

$$\text{Таким образом, } C(t,r)=Ct\cdot r^2\cdot t,$$

Следовательно, $\min_t C(t,r)=Ct\cdot r^2(\min_t t)$, поэтому для минимизации стоимости днища необходимо его толщину t сделать как можно меньше, т.е. как можно ближе к нижней границе $t\geq H\cdot r$.

Таким образом, минимальная стоимость днища равна:

$$\min_t C(t,r)=Ct\cdot r^2\cdot H\cdot r=(Ct\cdot H)\cdot r^3,$$

где $(Ct\cdot H)$ – является параметром.

На следующем этапе решения задачи проведем частную оптимизацию общей стоимости резервуара по толщине стенки S .

Про прочих равных условиях (t, r, l – постоянны) стоимость изготовления стенки резервуара увеличиваются при увеличении S . Поэтому значение S необходимо сделать как можно меньшим. Установим ограничение прочности на стенку резервуара. Согласно [10] напряжение в стенке резервуара составит:

$$\sigma=\gamma f\cdot p\cdot rS\leq R_{wy}\cdot\gamma_{cyn},$$

где $R_{wy}=R_y$ – расчетное сопротивление сварного шва при физических методах контроля;

$\gamma_c=0,8$ – коэффициент условия работы;

$\gamma_n=1,1$ – коэффициент надежности по назначению;

$\gamma_f=1,2$ – коэффициент надежности по нагрузке для внутреннего давления;

S – толщина стенки; $S=\gamma_f \cdot p \cdot \gamma_n R_y \cdot \gamma_c \cdot r$

Представим накладываемое ограничение в виде $S \geq K_s \cdot r$, где

$$K_s = \gamma_f \cdot p \cdot \gamma_n R_y \cdot \gamma_c = 1,2 \cdot 1,1 \cdot 0,1829 \cdot 0,8 = 10,2 \cdot 10^{-3}$$

Функция стоимости стенки резервуара достигает минимума, когда величина S соответствует точной нижней границе т.е. $S_{min} = K_s \cdot r$,

Таким образом,
 $\min_{S,r,l} [C(S,r,l)] = \min_{r,l} [\min_S C(S,r,l)] = \min_{r,l} [C(S_{min},r,l)] = \min_{r,l} [C(K_s r,r,l)]$

Стоимость материала стенки пропорциональна его объему, который равен $2\pi r \cdot l \cdot S$. Обозначим 2π как C_s – параметр стоимости стенки.

Имеем $C(S,r,l) = C_s \cdot r \cdot l \cdot S$,

Минимизируя S подставим $S_{min} = K_s \cdot r$, тогда стоимость резервуара минимизируется по S и составит $C(S,r,l) = C_s \cdot r \cdot l \cdot K_s \cdot r = (C_s \cdot K_s) \cdot r^2 \cdot l$ - является возрастающей функцией от r и l .

Итог частной оптимизации двух переменных будет выглядеть в виде:
 $\min_{t,S,r,l} [C(t,r) + C(S,r,l)] = \min_{r,l} [\min_{t \geq H \cdot r} C(t,r) + \min_{S \geq K_s \cdot r} C(S,r,l)] =$

$$= \min_{r,l} [(C_h \cdot H) \cdot r^3 + (C_s \cdot K_s) \cdot r^2 \cdot l] \quad (3)$$

Для того, чтобы осуществить минимизацию по r и по l , необходимо рассмотреть оставшиеся ограничения [13].

Объем резервуара составит:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l \quad (4)$$

Видно, что функции (3) и (4) при увеличении r и l возрастают. Соответственно, чем больше объем резервуара, тем больше его стоимость. Резервуар минимально допустимого объема $V = \pi \cdot r^2 \cdot l$ соответствует минимальной стоимости.

Из уравнения объема резервуара можно получить явное выражение для l , при этом r – неизвестно. $l = V / (\pi \cdot r^2)$

Исключение l из соотношения (3) приводит к зависимости:

$$C = \min_r, l [(C_t \cdot H) \cdot r^3 + (C_s \cdot K_s) \cdot r^2 \cdot V \pi \cdot r^2] = (C_t \cdot H) \cdot r^3 + V \pi \cdot (C_s \cdot K_s),$$

- мы получили уравнение с r в первом слагаемом.

Поскольку коэффициент $(C_t \cdot H) \cdot r^3$ является положительным, а коэффициент $V \pi \cdot (C_s \cdot K_s)$ не зависит от r , то общая стоимость резервуара представляет собой возрастающую функцию величины r . Соответственно, радиус резервуара должен быть как можно меньше. В то же время из формулы объема резервуара $V = \pi \cdot r^2 \cdot l$ видно, что величина радиуса ограничена снизу, т.к. существует верхняя граница длины стенки – максимальное значение L_{max} .

$$r = \sqrt{V \pi \cdot l}; \quad l = V \pi \cdot r^2 \leq L_{max}$$

Соответственно принимаем $l^* = L_{max}$, где l^* - значение данной переменной при которой достигается минимум оптимизируемой функции [8].

У нас имеется два ограничения на толщину днища t , нижняя граница определяется условием прочности, верхняя граница – ограничением общей длины резервуара L_{max} . Так как с ростом t стоимость днища увеличивается, то в точке минимума в качестве активного ограничения должна использоваться

точная нижняя граница, т.е. $t^*=H \cdot r^*$. Для частной оптимизации по r требуется использовать в качестве активного ограничения предельную величину объема резервуара V .

Таким образом, имеются четыре ограничения:

- для толщины стенки $S \geq K_S \cdot r$;
- для толщины днища $t \geq H \cdot r$;
- для размеров, определяющих объем $V = \pi \cdot r^2 \cdot l$;
- для общей длины резервуара $l \leq L_{max}$.

Окончательно имеем, что определение оптимального проектного решения обеспечивается использованием следующих уравнений:

$l^* = L_{max}$ - оптимальное значение длины резервуара l ;

$r^* = \sqrt{V / \pi \cdot L_{max}}$ - оптимальное значение радиуса стенки r ;

$t^* = H \cdot r^*$ - оптимальное значение толщины днища t ;

$S^* = K_S \cdot r^*$ - оптимальное значение толщины стенки.

В рассматриваемом примере заданы следующие основные проектные характеристики

$L = 1200 \text{ см}$; $V = 100 \text{ м}^3$; $H = 4,7 \cdot 10^{-3}$; $K_S = 10,2 \cdot 10^{-3}$,

Тогда переменные имеют следующие оптимальные значения.

$l^* = 1200 \text{ см}$;

$r^* = \sqrt{100 \cdot 1063,14 / 1200} = 163 \text{ см}$. Что соответствует $D = 326 \text{ см} \approx 3,25 \text{ м}$ – следовательно выполняется ограничение по соблюдению транспортного габарита.

$$t^*=4,7 \cdot 163=0,76 \text{ cm}=8 \text{ mm};$$

$$S^*=10,2 \cdot 10^{-3} \cdot 163=17 \text{ mm}.$$

Заключение

Рассмотренный в вкр метод частной оптимизации позволяет находить оптимальные параметры листовых конструкций. При решении задачи оптимизирования накладывались следующие ограничения: максимальная длина определяется условиями транспортного габарита резервуара, толщина днища и стенки определяются требованиями норм проектирования исходя из условия прочности. При этом каждое ограничение рассматривается как строгое равенство.

Резервуары для хранения сжиженных газов относятся к объектам повышенной опасности, что требует анализа работы конструкции с использованием научных методов. Применение методов математического моделирования при оптимальном проектировании конструкции позволяет снизить вероятность отказа и разрушения, а также уменьшить риск экологического и материального ущерба.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены методики проектирования резервуаров, проведен анализ конструкций резервуаров, анализ требований к проектированию, анализ методов проектирования, рассмотрена методика оптимизации конструкции горизонтального резервуара, проведен расчет конструктивных параметров горизонтального резервуара.

Список использованных источников

1. Системотехника [Текст] / Под. ред. А.А.Гусакова. -М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. -768 с.
2. Гуд Г.-Х. Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ. [Текст] / Г.-Х. Гуд, Р.-Э. Макол. -М., 1962. -357 с.
3. Касьянов В.Е., Котесов А.А., Котесова А.А. Аналитическое определение параметров закона Вейбулла для генеральной совокупности конечного объема по выборочным данным прочности стали [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/804> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Холкин Д.В. Системная инженерия - новая профессия для новой энергетики [Текст] / Д.В. Холкин // Энергоразвитие. -2010. -№3(13). –С.45-48.
5. Tippet. The Methods of statistics [Текст], J.,Wiley, N.J. -394 p.
6. Касьянов В.Е., Щулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В. Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Уайлд Д. Оптимальное проектирование: Пер. с англ. [Текст] / Д. Уайлд. -М.: Мир, 1981. -272 с.
8. Сидоров В.Н. Математическое моделирование в строительстве. Учебное пособие [Текст] / В.Н.Сидоров, В.К. Ахметов. - М.: Изд-во АСВ, 2007. - 336 с.
9. Yeh-Liang Hsu. Developing a fuzzy proportional-derivative controller optimization engine for engineering design optimization problems [Текст] / Hsu Yeh-Liang, Liu Tzu-Chi // Engineering Optimization.Vol. 39, No. 6, September 2007, 679–700.

10. Металлические конструкции. В 3 т. Справочник проектировщика [Текст] / Под ред. В.В. Кузнецова. - М.: Изд-во АСВ, 1998. -576 с.
11. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
12. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции.
13. Нехаев Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления.
14. МУ Опоры вертикальных и горизонтальных аппаратов.
15. Колдин В. А. Луганцев Л. Д. Современные проблемы производства емкостных аппаратов и\$ алюминиевых сп швов i1 Химическое и нефтяное машиностроение 1993 .N«7 С 17-19
16. Колдин В. А, Луганцев Л. Д. Автоматизированный расчет напряженно-деформированного состояния горизонтальных тонкостенных резервуаров Химическое и нефтяное машиностроение 1994 №12 С 1 4
17. Колдин В. А, Л\ ганцев Л. Д. Чистенный анализ напряжечно- деформированного состояния тонкостенных цилиндрических резервуаров ; Химическое и нефтяное машиностроение 1995 №
18. С 5- 8 15 4 Колдин В.А., Луганцев Л.Д. Оптимальное проектирование горизонтальных тонкостенных резервуаров // Химическое и нефтяное машиностроение. 1995. №9 . С. 1-5.
19. Колдин В.А., Луганцев Л.Д. Расчет и оптимальное проектирова- ние горизонтальных тонкостенных резервуаров // Тезисы докладов 46-й научно-технической конференции. М: МГАХМ, 1995. С. 67.
20. Колдин В.А. Инженерное проектирование цилиндрических резер- вуаров // VIII Научная конференция ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2003. С. 21 - 22.
21. Колдин В.А. Методика расчетов на прочность наливных резервуа- ров // IX Научная конференция ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2004. С. 36 - 37.
22. ПБ 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] :

утв. Госгортехнадзором России 09.06.03 : взамен ПБ 03-381-00. – Режим доступа : Стройконсультант.

23. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции : строит. нормы и правила [Текст]: утв. Госстроем СССР 14.08.81: взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 : дата введ. 01.01.82. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

24. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») [Текст]: утв. ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР 15.08.85. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.

25. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций [Текст] : свод правил по проектированию и строительству : утв. и введен ЦНИИСК им. Кучеренко 01.01.05 : введен впервые. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 188 с.

26. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия [Текст] : строит. нормы и правила : утв. Госстроем СССР 29.07.85 : взамен главы СНиП II-6-74 : дата введ. 01.01.87. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.

27. Металлические конструкции [Текст] : справочник проектировщика : в 3 т. / под общ. ред. В. В. Кузнецова. – М. : АСВ, 1998. – Т. 1-3.

28. ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические для нефти и нефтепродуктов [Текст] : межгосударственный стандарт : введ. 01.07.2010. – М. : Стандартиформ, 2010. – 56 с.

29. Металлические конструкции. Справочник проектировщика [Текст] / под ред. Н. П. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с. 120

30. Металлические конструкции. Общий курс [Текст] : учеб. для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 560 с